

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-078472

(43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.Cl.

H02N 2/00

(21)Application number : 11-250899

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 03.09.1999

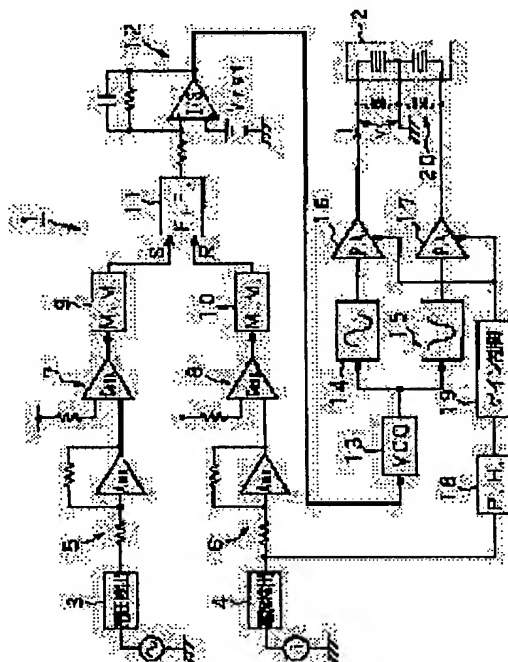
(72)Inventor : KYODO YASUMASA  
MARUO TSUNEHIRO

## (54) DEVICE AND METHOD FOR DRIVING ULTRASONIC MOTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To drive an ultrasonic motor at the resonance frequency of a vibrating body.

SOLUTION: In an ultrasonic motor drive device 1, an external inductor 20 for impedance compensation is connected to the vibrating body of an ultrasonic motor 2. The drive device 1 detects the phase difference between a drive voltage(v) and a drive current (i) supplied to the motor 2 and makes servo-control on the frequency of the drive, voltage(v) so that the phase difference becomes zero. In addition, the device 1 also detects the rotational speed of the motor 2 and makes servo-control on the speed by controlling the drive voltage(v).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-78472

(P2001-78472A)

(43)公開日 平成13年3月23日(2001.3.23)

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

H02N 2/00

識別記号

F I

H02N 2/00

テーマコード(参考)

C 5H680

審査請求 未請求 請求項の数10

OL

(全10頁)

(21)出願番号 特願平11-250899

(22)出願日 平成11年9月3日(1999.9.3)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成11年3月5日 社団法人精密工学会発行の「1999年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集」に発表

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 京藤 康正

茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学  
工作センター内

(72)発明者 丸尾 恒弘

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー  
株式会社内

(74)代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

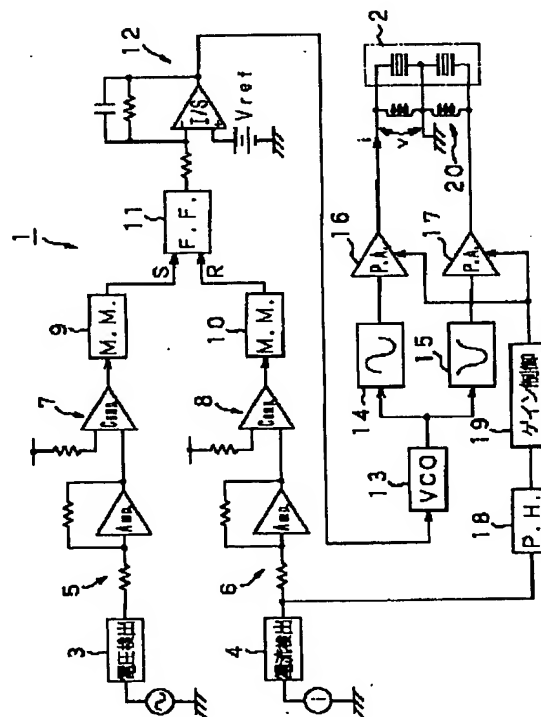
最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波モータの駆動装置及び超音波モータの駆動方法

(57)【要約】

【課題】 振動体の共振周波数で超音波モータを駆動する。

【解決手段】 超音波モータの駆動装置1は、超音波モータ2の振動体にインピーダンス補償のための外部インダクタ20を接続する。超音波モータの駆動装置1は、超音波モータ2に供給する駆動電圧 $v$ と駆動電流 $i$ との位相差を検出して、この位相差が0となるように、駆動電圧 $v$ の周波数をサーボ制御する。また、超音波モータの駆動装置1は、超音波モータ2の回転速度を検出して、駆動電圧 $v$ を制御し、速度サーボ制御を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 交流電圧が供給されこの交流電圧によって振動する振動体と、この振動体が発生する振動に応じて移動する移動体とを有する超音波モータを駆動する超音波モータの駆動装置において、

上記振動体に接続されたインピーダンス補償手段と、  
上記振動体に交流電圧を供給して上記超音波モータを駆動する駆動手段と、  
上記振動体に印加される電圧と上記振動体に流れる電流との位相差を検出する位相差検出手段と、  
上記位相差検出手段が検出した位相差に応じて、上記駆動手段が供給する交流電圧の周波数を制御する周波数制御手段とを備える超音波モータの駆動装置。

【請求項2】 上記超音波モータの速度に応じて、上記振動体に供給する駆動電圧レベルを制御する駆動電圧制御手段を備えることを特徴とする請求項1記載の超音波モータの駆動装置。

【請求項3】 上記駆動手段は、上記超音波モータの停止時に、所定レベルの交流電圧を上記振動体に印加しておくことを特徴とする請求項1記載の超音波モータの駆動装置。

【請求項4】 上記周波数制御手段は、上記位相差に応じて、振動体の共振周波数を中心として周波数を変動させて生成した交流電圧を出力することを特徴とする請求項1記載の超音波モータの駆動装置。

【請求項5】 上記周波数制御手段は、振動体の共振周波数を中心として、共振の下限周波数から上限周波数まで周波数を変動させて、上記交流電圧を生成することを特徴とする請求項4記載の超音波モータの駆動装置。

【請求項6】 上記周波数制御手段は、上記位相差に応じて振動体の共振周波数の $n$ 倍の周波数を中心として周波数を変動させたクロック信号を生成する発振器と、正弦波の1波長を所定の分割数 $n$ で分割してサンプリングしたデータを記憶した記憶部を有し、上記記憶部は、上記発振器からのクロック信号に応じて、サンプリングしたデータを順次出力していくことを特徴とする請求項4記載の超音波モータの駆動装置。

【請求項7】 交流電圧が供給されこの交流電圧によって振動する振動体と、この振動体が発生する振動に応じて移動する移動体とを有する超音波モータを駆動する超音波モータの駆動方法において、  
上記振動体をインピーダンス補償し、  
上記振動体に印加される電圧と上記振動体に流れる電流との位相差を検出し、検出した位相差に応じて、上記振動体に供給する交流電圧の周波数を制御することを特徴とする超音波モータの駆動方法。

【請求項8】 上記超音波モータの速度に応じて、上記振動体に供給する駆動電圧レベルを制御することを特徴とする請求項7記載の超音波モータの駆動方法。

【請求項9】 上記超音波モータの停止時に、所定レベ

ルの交流電圧を上記振動体に印加しておくことを特徴とする請求項7記載の超音波モータの駆動方法。

【請求項10】 上記振動体のインピーダンスの補償することを特徴とする請求項7記載の超音波モータの駆動方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、超音波モータの駆動装置及び超音波モータの駆動方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 現在、圧電素子等が発生した高周波弾性振動を摩擦力を使って機械的出力に変換する超音波モータの実用化が進んでいる。この超音波モータは、従来の電磁式のモータに比べて、低速で高トルクが得られ応答速度も早いことから、次世代アクチュエータとして注目されている。

【0003】 図7に一例として円板型の超音波モータを示し、この円板型の超音波モータを用いて超音波モータの基本動作原理について説明する。

【0004】 円板型の超音波モータ100は、図7に示すように、リング状に形成された金属等からなる弾性体101に圧電セラミックス等の圧電素子102が接着されて構成される振動体103と、振動体103との接触面に摩擦材104が設けられた移動体105とからなる。

【0005】 圧電素子102は、図8に示すように、振動体103の厚さ方向（図8の矢印A方向）に分極している。この圧電素子102には、たわみ振動の半波長相当の長さの電極106が複数個設けられている。このような圧電素子102に、位置が $1/4$ 波長ずれた2つの交流電力を加えると、振動体103に、 $1/4$ 波長ずれたたわみ振動の2つの定在波が励振される。

【0006】 振動体103に2つの定在波が励振されると、図9に示すように、振動体103の表面の任意の点が楕円の軌跡を描くように運動し、振動体103に擬似的に進行波が励振される。そのため、擬似的に進行波が生じている振動体103に対して移動体105を加圧すると、摩擦材104による摩擦力により、この振動体105が進行波の進行方向と逆方向に回転することとなる。

【0007】 このように超音波モータ100は、 $1/4$ 波長ずらして形成された複数の圧電素子の駆動電極106に、位相が $90^\circ$ ずれた2相の交流電圧が印加されることにより、振動体103がたわみ振動の進行波を励振し、この振動体103の振動に応じて移動体105が回転移動する。

【0008】 また、振動体103の駆動端子からみた等価回路は、図10に示すように、圧電素子102単体の電気的性質を示す回路である電気腕121と、超音波モ

ータ100の機械的性質を表す回路である機械腕122との並列回路で表される。電気腕121は、キャパシタンスC<sub>d</sub>で表される。機械腕122は、キャパシタンスC<sub>m</sub>、インダクタンスL<sub>m</sub>、抵抗R<sub>m</sub>で表される。

【0009】このような振動体103の駆動端子からみたアドミッタンスの周波数特性は、例えば、図11に示すようになる。振動体103の振動の大きさは、駆動端子に流れる電流の大きさに比例する。同じ電圧で駆動すれば、電流はアドミッタンスに比例することとなる。従って、図11のBで示すような、振動体103の共振周波数近傍で駆動すれば、比較的に低い駆動電圧で振幅の大きな振動を得ることができる。

【0010】このように超音波モータ100では、振動体103の共振周波数近傍で駆動することにより、高い効率を得ることができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、振動体103の共振周波数は温度や負荷等によって変化する。そのため、超音波モータの駆動回路には、基本的な駆動回路とともに、超音波モータ100を共振周波数近傍の周波数で駆動するためのサーボ回路が必要となる。

【0012】従来の超音波モータの駆動回路では、駆動電流を検出して、この駆動電流が一定値になるように周波数をサーボ制御する方式を用いている。

【0013】しかしながら、駆動電流の振幅のピーク点においては、図12に示すように、周波数を大きくする方向に移動しても、周波数を小さくなる方向に移動しても、振幅レベルが減少してしまう。そのため、この駆動電流を一定にする方式では、駆動電流の振幅の頂点でサーボロックすることができず、振幅の頂点よりもレベルが下がった位置でサーボロックをしていたので、最も効率のよい共振周波数で超音波モータを駆動することができなかった。さらに、このような方式では、サーボ範囲が狭く、且つ、基準周波数を中心とするレベルの変動が左右で非対称で、レベル変動幅が少ない領域が片側に生じるため、引き込みにくく且つ外れやすいサーボ系となっていた。

【0014】また、駆動電流を一定にする方式では、超音波モータの特性が経時的に変化することによって、動作範囲が外れてしまい、以後駆動制御をすることができなくなる場合があった。

【0015】本発明は、このような実情を鑑みてなされたものであり、振動体の共振周波数で超音波モータを駆動することができる超音波モータの駆動装置及び超音波モータの駆動方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】上述の課題を解決するために、本発明にかかる超音波モータの駆動装置は、交流電圧が供給されこの交流電圧によって振動する振動体と、この振動体が発生する振動に応じて移動する移動体

とを有する超音波モータを駆動する超音波モータの駆動装置であって、上記振動体に接続されたインピーダンス補償手段と、上記振動体に交流電圧を供給して上記超音波モータを駆動する駆動手段と、上記振動体に印加される電圧と上記振動体に流れる電流との位相差を検出する位相差検出手段と、上記位相差検出手段が検出した位相差に応じて、上記駆動手段が供給する交流電圧の周波数を制御する周波数制御手段とを備えることを特徴とする。

10 【0017】この超音波モータの駆動装置では、上記振動体に対してインピーダンス補償を行って、共振時に、インダクタンス成分及びキャパシタンス成分が無くなるようにして、共振周波数を中心としたサーボ範囲で周波数を変動させたときに、電圧と電流の位相差が線形に変化するようにする。そして、この超音波モータの駆動装置では、振動体に印加する電圧と振動体に流れる電流の位相差に基づき、この振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追従させる。

20 【0018】本発明にかかる超音波モータの駆動装置は、上記超音波モータの速度に応じて、上記振動体に供給する駆動電圧レベルを制御する駆動電圧制御手段を備えることを特徴とする。

【0019】この超音波モータの駆動装置では、振動体に印加する交流電圧の周波数をこの振動体の共振周波数に追従させながら、上記振動体に印加する電圧の電圧値を制御して上記超音波モータの速度を制御する。この超音波モータの駆動装置では、例えば、上記振動体に流れる電流やエンコーダ等を用いて、上記超音波モータの速度を制御する。

30 【0020】本発明にかかる超音波モータの駆動装置は、上記駆動手段が、上記超音波モータの停止時に、所定レベルの交流電圧を上記振動体に印加しておくことを特徴とする。

【0021】超音波モータは、一定レベル以上の電圧を振動体に供給しなければ、トルクが発生しない。言い換えれば、超音波モータは、一定レベル以下の電圧を振動体に供給していても、動作しない。そのため、この超音波モータの駆動装置では、超音波モータの停止時にも所定レベルの交流電圧を印加し続け、振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追従させ続ける。

40 【0022】本発明にかかる超音波モータの駆動方法は、交流電圧が供給されこの交流電圧によって振動する振動体と、この振動体が発生する振動に応じて移動する移動体とを有する超音波モータを駆動する超音波モータの駆動方法であって、上記振動体をインピーダンス補償し、上記振動体に印加される電圧と上記振動体に流れる電流との位相差を検出し、検出した位相差に応じて、上記振動体に供給する交流電圧の周波数を制御することを特徴とする。

【0023】この超音波モータの駆動方法では、振動体に対してインピーダンス補償を行って、共振時に、インダクタンス成分及びキャパシタンス成分が無くなるようにして、共振周波数を中心としたサーボ範囲で周波数を変動させたときに、電圧と電流の位相差が線形に変化するようにする。そして、この超音波モータの駆動方法では、振動体に印加する電圧と振動体に流れる電流の位相差に基づき、この振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追従させる。

【0024】本発明にかかる超音波モータの駆動方法は、上記超音波モータの速度に応じて、上記振動体に供給する駆動電圧レベルを制御することを特徴とする。

【0025】この超音波モータの駆動方法では、振動体に印加する交流電圧の周波数をこの振動体の共振周波数に追従させながら、上記振動体に印加する電圧の電圧値を制御して上記超音波モータの速度を制御する。この超音波モータの駆動装置では、例えば、上記振動体に流れる電流や上記超音波モータの速度を検出して、この振動体に印加する電圧値を制御して、上記超音波モータの速度を制御する。

【0026】本発明にかかる超音波モータの駆動方法は、上記超音波モータの停止時に、所定レベルの交流電圧を上記振動体に印加しておくことを特徴とする。

【0027】超音波モータは、一定レベル以上の電圧を振動体に供給しなければ、トルクが発生しない。言い換えれば、超音波モータは、一定レベル以下の電圧を振動体に供給していても、動作しない。そのため、この超音波モータの駆動方法では、超音波モータの停止時にも所定レベルの交流電圧を印加し続け、振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追従させ続ける。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態として、本発明を適用した超音波モータの駆動装置について説明する。

【0029】図1に本発明を適用した超音波モータの駆動装置を示す。

【0030】図1に示す超音波モータの駆動装置1は、超音波モータ2にトルクを発生させ、この超音波モータ2を駆動する装置である。

【0031】超音波モータの駆動装置1は、駆動電圧検出部3と、駆動電流検出部4と、第1の増幅器5と、第2の増幅器6と、第1のコンパレータ7と、第2のコンパレータ8と、第1のモノマルチバイブレータ9と、第2のモノマルチバイブレータ10と、フリップフロップ回路11と、積分回路12と、VCO (Voltage Controlled Oscillator) 13と、第1の波形発生部14と、第2の波形発生部15と、第1のパワーアンプ16と、第2のパワーアンプ17と、ピークホールド回路18と、ゲイン制御回路19と、外部インダクタ20とを備えて

いる。

【0032】超音波モータ2は、外部インダクタ20が取り付けられ、超音波モータ2の振動体のインピーダンス補償がされている。超音波モータ2の電気的な等価回路は、従来例において説明したように、容量成分Cdからなる電気腕と、超音波モータの機械的性質を表す機械腕との並列回路で表される。超音波モータの駆動装置1では、図2に示すように、超音波モータ2の等価回路の容量成分Cdに対して並列に外部インダクタ20を接続し、この容量成分Cdをタンク回路として吸収する。外部インダクタ20のインダクタンスLdの値は、以下のように定める。

【0033】

$$\omega_o = 1 / \sqrt{L_d \cdot C_d} = 1 / \sqrt{L_m \cdot C_m}$$

$$L_d = 1 / \{ C_d (2\pi f_o)^2 \} = (L_m \cdot C_m) / C_d$$

f<sub>o</sub>＝振動体の共振周波数

L<sub>m</sub>＝機械腕のインダクタンス

C<sub>m</sub>＝機械腕のキャパシタンス

20 【0034】駆動電圧検出部3は、超音波モータ2の振動体を構成する圧電素子に供給される交流の駆動電圧vを検出する。駆動電圧検出部3は、検出した駆動電圧vに応じた電圧検出信号を出力する。この電圧検出信号は、第1の増幅器5に供給される。なお、駆動電圧として圧電素子に90°位相がずれた2つの正弦波電圧を供給する場合には、少なくともいずれか一方の正弦波電圧を検出すればよい。

30 【0035】駆動電流検出部4は、超音波モータ2の振動体を構成する圧電素子に供給する交流の駆動電圧vによって、この圧電素子に流れる交流の駆動電流iを検出する。駆動電流検出部4は、検出した駆動電流iに応じた電流検出信号を出力する。この電流検出信号は、第2の増幅器6に供給される。なお、駆動電圧vとして圧電素子に90°位相がずれた2つの正弦波電圧を供給する場合には、少なくともいずれか一方の正弦波電圧によって流れる電流を検出すればよい。

40 【0036】第1の増幅器5は、駆動電圧検出部3から出力された電圧検出信号を飽和レベルまで増幅し、第1のコンパレータ7に供給する。第1のコンパレータ7は、飽和レベルにまで増幅された電圧検出信号と電源電圧（例えば、5ボルト）とを比較して、電圧検出信号のゼロクロス点でオンオフするパルス信号を発生する。このように飽和レベルにまで電圧検出信号を増幅してゼロクロス点を検出することによって、駆動電圧検出部3から出力される電圧検出信号の信号レベルに影響されず、振動体に供給した駆動電圧vのゼロクロス点を検出して位相を検出することができる。この第1のコンパレータ7から出力されるパルス信号は、第1のモノマルチバイブレータ9に供給される。

50 【0037】第2の増幅器6は、駆動電流検出部4から

出力された電流検出信号を飽和レベルまで増幅し、第2のコンパレータ8に供給する。第2のコンパレータ8は、飽和レベルにまで増幅された電流検出信号と電源電圧とを比較して、電流検出信号のゼロクロス点でオンオフするパルス信号を発生する。このように飽和レベルにまで電流検出信号を増幅してゼロクロス点を検出することによって、駆動電流検出部3から出力される電流検出信号の信号レベルに影響されず、振動体に供給した駆動電流 $i$ のゼロクロス点を検出して位相を検出することができる。この第2のコンパレータ8から出力されるパルス信号は、第2のモノマルチバイブレータ10に供給される。

【0038】第1のモノマルチバイブレータ9は、第1のコンパレータ7から出力されるパルス信号の立ち上がりエッジのタイミングで、トリガパルスを発生する。このトリガパルスは、振動体に供給される駆動電圧 $v$ の位相を表すトリガパルスであり、以下、電圧位相トリガパルスという。第1のモノマルチバイブレータ9から出力された電圧位相トリガパルスは、フリップフロップ回路11に供給される。

【0039】第2のモノマルチバイブレータ10は、第2のコンパレータ8から出力されるパルス信号の立ち上がりエッジのタイミングで、トリガパルスを発生する。このトリガパルスは、振動体に供給される駆動電流 $i$ の位相を表すトリガパルスであり、以下、電流位相トリガパルスという。第2のモノマルチバイブレータ10から出力された電流位相トリガパルスは、フリップフロップ回路11に供給される。

【0040】フリップフロップ回路11は、電圧位相トリガパルスと電流位相トリガパルスとの位相差に応じた時間幅のパルス信号を発生する。例えば、フリップフロップ回路11は、RSフリップフロップからなり、セット端子に電圧位相トリガパルスが入力され、リセット端子に電流位相トリガパルスが入力される。そして、このRSフリップフロップは、電圧位相トリガパルスが供給されたタイミングでオンとなり、電流位相トリガパルスが供給されたタイミングでオフとなるパルスを出す。

【0041】なお、このフリップフロップ回路11は、電圧位相トリガパルスと電流位相トリガパルスとのタイミングが一致するとき、すなわち、振動体に供給される駆動電圧 $v$ と振動体に流れる駆動電流 $i$ との位相差が0のときに、所定の時間幅( $t_o$ )のパルスが出力されるようにする。そして、このフリップフロップ回路11は、電圧位相トリガパルスの方が位相が進んでいるときにこの進み時間( $t_+\delta$ )だけ所定の時間幅( $t_o$ )に加算したパルス幅( $t_o+t_+\delta$ )の信号を出力し、電流位相トリガパルスの方が位相が遅れているときにこの遅れ時間( $t_-\delta$ )だけ所定の時間幅( $t_o$ )から減算したパルス幅( $t_o+t_-\delta$ )の信号を出力するようにする。こ

の所定の時間幅( $t_o$ )は、後段の積分回路12で積分をしたときに基準電圧 $V_{ref}$ が出力される時間幅である。この基準電圧 $V_{ref}$ は、その後段のVCO13から中心周波数が出力されるような電圧である。例えば、図1に示すように、積分回路12に基準電圧 $V_{ref}$ を印加してもよい。また、例えば、フリップフロップ回路11をRSフリップフロップで構成する場合、位相差が0のときに所定の時間幅( $t_o$ )のパルスが出力されるようにするには、電流位相トリガパルスをこの所定の時間幅( $t_o$ )だけ遅延させて、リセット端子に供給すればよい。

【0042】積分回路12は、フリップフロップ回路11から出力されたパルス信号を積分して平滑化し、後段のVCO13に供給するアナログの制御電圧を生成する。この積分回路12は、フリップフロップ回路11から時間幅( $t_o$ )のパルスが連続して出力されれば、電圧値が基準電圧 $V_{ref}$ の制御電圧を出力する。そして、積分回路12は、供給されたパルス信号が、この時間幅( $t_o$ )を中心にパルス幅が変動したときに、基準電圧 $V_{ref}$ を中心として増減する制御電圧を出力する。積分回路12から出力される制御電圧は、VCO12に供給される。

【0043】VCO12は、入力されたアナログの制御電圧に応じて周波数を変化させたクロック信号を発生する。このVCO12の中心周波数は、超音波モータ2の振動体の共振周波数 $f_o$ の $n$ 倍の周波数のクロック信号を発生する(例えば、 $n=90$ )。このVCO12は、出力するクロック信号の中心周波数 $n \cdot f_o$ を中心として、下限周波数 $f_1$ の $n$ 倍の周波数から、上限周波数 $f_2$ の $n$ 倍の周波数までの範囲で変動させる。下限周波数 $f_1$ 及び上限周波数 $f_2$ は、図4及び図5においては、共振周波数 $f_o$ で得られる振幅値から3dB下がった点の周波数である。VCO12は、この制御電圧に応じて周波数が制御されたクロック信号を、第1の波形発生部14及び第2の波形発生部15に供給する。

【0044】第1の波形発生部14は、正弦波の1波長分の振幅データを、 $0 \sim (n-1)$ までのアドレスに対応させて記憶している。具体的には、正弦波の1波長を $n$ 分割してサンプリングして、そのサンプリングした値を $0 \sim (n-1)$ のアドレスに対応させて記憶している。第1の波形発生部14は、VCO12から供給されたクロックにより、 $0 \sim (n-1)$ の値を周期的にカウントしていき、カウントした値のアドレスの振幅データを読み出す。そして、第1の波形発生部14は、読み出した振幅データを、D/A変換してアナログ信号を出力する。

【0045】このように第1の波形発生部14から出力されたアナログ信号は、VCO12が出力するクロック信号の周波数の $1/n$ の周波数の正弦波信号となる。従って、第1の波形発生部14は、振動体の共振周波数 $f$



。を中心として、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ まで変動する正弦波信号を出力する。すなわち、この第1の波形発生部14は、積分回路12から出力された制御電圧に応じて、出力するアナログ信号の周波数が制御され、その周波数は、共振周波数 $f_0$ を中心として、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ まで変動する。

【0046】なお、積分回路12から出力された制御電圧に応じて、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ まで変動する正弦波信号を生成するには、中心周波数が共振周波数 $f_0$ と一致するVCOを用いてパルス信号を生成した後、このパルス信号をフィルタリングすれば生成できる。もっとも、この方式では、矩形波から正弦波を生成するので波形歪みが大きく、VCOのジッタも直接影響する。そのため、位相差を検出するためのゼロクロス点安定して検出されない。しかしながら、VCOが発生するクロック信号の周波数を共振周波数 $f_0$ の $n$ 倍とし、この $n$ 倍の周波数のクロックによりメモリに記憶された正弦波のサンプリングデータを読み出す方式では、VCOのジッタの影響が $1/n$ となり、また、波形歪みも非常に小さくなる。

【0047】第2の波形発生部15は、上記第1の波形発生部14に記憶されている正弦波に対して $90^\circ$ 位相がずれた余弦波の1波長分の振幅データを、 $0 \sim (n-1)$ までのアドレスに対応させて記憶している。具体的には、余弦波の1波長を $n$ 分割してサンプリングして、そのサンプリングした値を $0 \sim (n-1)$ のアドレスに対応させて記憶している。第2の波形発生部15は、VCO12から供給されたクロックにより、 $0 \sim (n-1)$ の値を周期的にカウントしていき、カウントした値のアドレスの振幅データを読み出す。そして、第2の波形発生部15は、読み出した振幅データを、D/A変換してアナログ信号を出力する。

【0048】このように第2の波形発生部15から出力されたアナログ信号は、上記第1の波形発生部14から出力されたアナログ信号に対して、同一周期であって $90^\circ$ 位相がずれた余弦波信号となる。

【0049】第1のパワーアンプ16は、第1の波形発生部14から出力された正弦波信号を電力増幅し、超音波モータ2の振動体に供給する。そして、この第1のパワーアンプ16から振動体に印加される駆動電圧 $v$ が上記電圧検出部3により検出され、この第1のパワーアンプ16から振動体に供給される駆動電流 $i$ が上記電流検出部4により検出されることとなる。

【0050】第2のパワーアンプ17は、第2の波形発生部15から出力された余弦波信号を電力増幅し、超音波モータ2の振動体に供給する。

【0051】ピークホールド回路18は、駆動電流検出部4により検出された検出信号をピークホールドし、そのピーク値を検出する。ピークホールド回路18は、検出したピーク値をゲイン制御回路19に供給する。

【0052】ゲイン制御回路19は、ピークホールド回路18から供給されたピーク値と、速度制御のための基準電圧とを比較し、その誤差信号に応じて、上記第1のパワーアンプ16及び第2のパワーアンプ17を制御して、駆動電圧を可変する。

【0053】つぎに、この超音波モータの駆動装置1の動作を、図3に示す波形図を用いて説明する。

【0054】まず、駆動電圧検出部3が振動体に印加された駆動電圧 $v$ を検出して、図3(A)に示すような、正弦波の電圧検出信号を出力する。この電圧検出信号を第1の増幅器5により飽和増幅して、第1のコンパレータ7により図3(B)に示すようなゼロクロス点を示すパルス信号に変換する。そして、第1のモノマルチバイブレータ9が、図3(C)に示すような、ゼロクロス点の立ち上がりエッジのタイミングで発生する電圧位相トリガパルスを出力する。

【0055】また、駆動電流検出部4が振動体に流れる駆動電流 $i$ を検出して、図3(D)に示すような、正弦波の電流検出信号を出力する。この電流検出信号を第2の増幅器6及び第2のコンパレータ8により飽和増幅して、図3(E)に示すようなゼロクロス点を示すパルス信号に変換する。そして、第2のモノマルチバイブレータ10が、図3(F)に示すような、ゼロクロス点の立ち上がりエッジのタイミングで発生する電流位相トリガパルスを出力する。

【0056】電圧位相トリガパルスと電流位相トリガパルスは、両者ともフリップフロップ回路11に供給され、このフリップフロップ回路11で、図3(G)に示すように、位相差が求められる。求められた位相差は、図3(H)に示すように、積分回路12により平滑化され、アナログの制御電圧として、VCO13に供給される。この積分回路12は、位相差が0のときに基準電圧 $V_{ref}$ を出力し、この $V_{ref}$ を中心として増減するアナログの制御電圧を出力する。

【0057】VCO13から出力されるクロック信号は、図3(I)に示すように、入力電圧が $V_{ref}$ (位相差が0)のときに共振周波数 $f_0$ の $n$ 倍の中心周波数とされ、その周波数が入力電圧の変動に応じて $n \cdot f_1 \sim n \cdot f_2$ の範囲で可変される。そして、第1のパワーアンプ16からは、図3(J)に示すような、その周波数が入力電圧の変動に応じて $f_1 \sim f_2$ の範囲で可変され、電流との位相差が0となる周波数でロックされる駆動電圧 $v$ が超音波モータ2の振動体に供給される。

【0058】以上のように超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2の振動体に印加される駆動電圧 $v$ と、振動体に流れる駆動電流 $i$ との位相差を検出して、その位相差が0となるように駆動電圧 $v$ の周波数をサーボ制御する。

【0059】このため、超音波モータの駆動装置1では、最も駆動効率が良い周波数で超音波モータ2を駆動

することができ、また、制御も簡単に行うことができる。さらに、超音波モータ2の特性が温度やその他の影響により経時的に変化しても、変化した後の共振周波数 $f_0$ に追従することができるので、動作範囲が外れることがなく、制御可能な時間が長くなり、寿命が長くなる。

【0060】また、この超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2に外部インダクタ20を接続して、インピーダンス補償を行っている。このように外部インダクタ20によりインピーダンス補償を行うと、共振周波数 $f_0$ の近傍の周波数変化に対して、電圧と電流との位相変化が線形になり、サーボ制御の安定性が高くなる。

【0061】以下、外部インダクタ20による補償が無い場合と、補償がある場合との制御の安定性の違いを説明する。

【0062】図4に、外部インダクタ20がない場合における超音波モータ2の移動体の駆動端子からみたアドミッタンス(図11に示す回路のインピーダンスの逆数)のベクトル線図及び位相特性を示す。また、図5に、外部インダクタ20を接続した場合における超音波モータ2の移動体の駆動端子からみたアドミッタンス(図2に示した回路のインピーダンスの逆数)のベクトル線図及び位相特性を示す。なお、図4(A)及び図5(A)に示すベクトル線図の横軸は、アドミッタンスの実数成分を示し、縦軸は、アドミッタンスの虚数成分を示す。共振点を $f_0$ 、下限周波数を $f_1$ 、上限周波数を $f_2$ で示す。また、図4(B)及び図5(B)に示す、横軸は周波数を示し、縦軸は、位相を示している。

【0063】外部インダクタ20がない場合におけるアドミッタンスのベクトルは、図4(A)に示すように、周波数を0から高くしていくと、その軌跡が虚軸上を直線的に上昇し $O'$ 点の位置まで描かれる。これは、電気腕のキャパシタンス $Cd$ のみによる効果である。続いて、この虚軸上の $O'$ 点の位置から、機械腕の影響が生じ、右回りで $f_1$ 、 $f_0$ 、 $f_2$ を経由しながら1回転の円周を描き、虚軸上の $O'$ 点の位置までもどる。そして、さらに周波数が高くなると、電気腕の影響で、このベクトル軌跡が虚軸上をさらに上昇していく。

【0064】また、外部インダクタ20を接続した場合におけるアドミッタンスのベクトルは、図5(A)に示すように、周波数を0から高くしていくと、その軌跡が虚軸上を直線的に上昇し原点 $O$ の位置まで描かれる。続いて、この原点 $O$ の位置から、右回りで $f_1$ 、 $f_0$ 、 $f_2$ を経由しながら1回転の円周を描き、原点 $O$ の位置までもどる。そして、さらに周波数が高くなると、このベクトル軌跡が虚軸上をさらに上昇していく。

【0065】ここで、ベクトル軌跡で描かれた円周が機械腕による共振状態を示しており、 $O'$ 点或いは原点から円周上の各点までの長さが共振の振幅(モータ速度)

に比例する。また、駆動電圧 $v$ に対する駆動電流 $i$ の位相は、 $\phi$ で示すように、線分 $O-fx$ と $X$ 軸とのなす角で表される。周波数を変化させて位相を制御する場合、振幅が大きくなる部分を用いるのと効率がよいため、円周の右半分を用いて制御を行う。

【0066】外部インダクタ20が無い場合におけるアドミッタンスでは、図4(B)に示すように、下限周波数 $f_1$ から共振周波数 $f_0$ への位相変化と、共振周波数 $f_0$ から上限周波数 $f_2$ への位相変化とが、著しく非対称となっている。また、共振周波数 $f_0$ から上限周波数 $f_2$ への位相変化量が非常に少ない。

【0067】これに対して、外部インダクタ20を接続した場合におけるアドミッタンスでは、図5(B)に示すように、下限周波数 $f_1$ から共振周波数 $f_0$ への位相変化と、共振周波数 $f_0$ から上限周波数 $f_2$ への位相変化とが、対照的でかつ線形性を有している。

【0068】このことから、超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2に外部インダクタ20を接続してインピーダンス補償をすることにより、位相制御をする際のループゲインを高く取ることができ、安定性が高くなることがわかる。また、温度変化等の影響によりアドミッタンスの円周が小さくなったり、共振周波数 $f_0$ が変動したりしても、位相制御に影響を及ぼさない。また、共振周波数 $f_0$ を中心に、位相変化が対照的になっているので、周波数が高い方からでも低い方からでもサーボの引き込みを行うことができるので、スタート周波数や掃引処理を簡易なものとすることができる。

【0069】また、超音波モータの駆動装置1のVCO13で行っているように、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ までの周波数の範囲の信号を出力するVCOを用いれば、特別なサーボロックの引き込み回路を必要とせず、引き込みを行うことができる。すなわち、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ までの範囲に必ず共振周波数 $f_0$ があるので、下限周波数 $f_1$ から上限周波数 $f_2$ までの任意の周波数でサーボ制御を開始すれば、共振周波数 $f_0$ でサーボロックをすることができる。

【0070】また、超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2の速度を検出して、この検出した速度に応じて超音波モータ2の振動体に供給する駆動電圧 $v$ のレベルを可変することによって、速度サーボ制御を行っている。超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2の速度は移動体に流れる駆動電流 $i$ に比例するため、ピークホールド回路18がこの駆動電流 $i$ のピーク値を検出して、この検出したピーク値に基づき速度サーボを行っている。なお、速度検出は、このように駆動電流 $i$ を検出するのみならず、例えば、移動体にエンコーダ等を取り付けて直接検出しても良い。

【0071】また、超音波モータの駆動装置1では、超音波モータ2の停止時にも所定の電圧値の駆動電圧 $v$ を印加し続け、常に、位相制御のサーボループをオン状態



にしておく。超音波モータ 2 は、図 6 に示すように、印加される駆動電圧  $v$  が一定電圧以上とならないと、トルクが発生しない。すなわち、駆動電圧  $v$  を与えても、移動が開始しない不感帯がある。超音波モータの駆動装置 1 では、この不感帯領域の駆動電圧  $v$  を停止時に供給しておくことにより、再起動時において再度サーボの引き込み動作を行わなくても良いので、応答速度を速くすることができる。

#### 【0072】

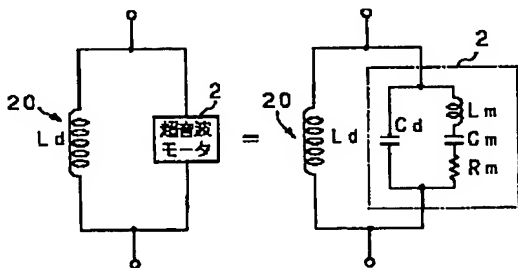
【発明の効果】本発明では、振動体に対してインピーダンス補償を行って、共振時に、インダクタンス成分及びキャパシタンス成分が無くなるようにして、共振周波数を中心としたサーボ範囲で周波数を変動させたときに、電圧と電流の位相差が線形に変化するようにする。そして、この超音波モータの駆動装置では、振動体に印加する電圧と振動体に流れる電流の位相差に基づき、この振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追従させる。

【0073】このことにより本発明では、最も効率が良い周波数で超音波モータを駆動することができ、また、制御も簡単にすることができる。さらに、超音波モータの特性が経時的に変化しても、変化した後の共振周波数に追従することができるので、動作範囲が外れることなく、寿命が長くなる。また、本発明では、安定してサーボ制御をすることができ、また、サーボの引き込みが簡単となり、サーボが外れにくくなる。

【0074】また、本発明では、振動体に印加する交流電圧の周波数をこの振動体の共振周波数に追従させながら、上記振動体に印加する電圧の電圧値を制御して上記超音波モータの速度を制御する。このことにより、速度制御と共振周波数の制御とを互いに独立にすることができ、制御系が簡単となる。

【0075】また、本発明では、超音波モータの停止時にも所定レベルの交流電圧を印加し続け、振動体に印加する交流電圧の周波数を、この振動体の共振周波数に追

【図 2】



従させ続ける。このことにより、本発明では、超音波モータの停止時でも、周波数制御を継続して行うことができ、超音波モータの動作開始時に制御の引き込み動作を行わなくても良く、応答を速くすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用した超音波モータの駆動装置の回路図である。

【図 2】外部インダクタを接続した超音波モータの等価回路を示す図である。

【図 3】上記超音波モータの駆動装置の動作を説明するための波形図である。

【図 4】外部インダクタを接続していない超音波モータのアドミッタンスのベクトル線図及び位相特性図である。

【図 5】外部インダクタを接続した超音波モータのアドミッタンスのベクトル線図及び位相特性図である。

【図 6】超音波モータの駆動電圧に対するトルクの特性を示す図である。

【図 7】超音波モータの一例を示す図である。

【図 8】超音波モータの圧電素子に設けられる電極と、圧電素子に印加される電圧の関係を示す図である。

【図 9】超音波モータの振動体に発生する進行波について説明する図である。

【図 10】超音波モータの振動体の等価回路図である。

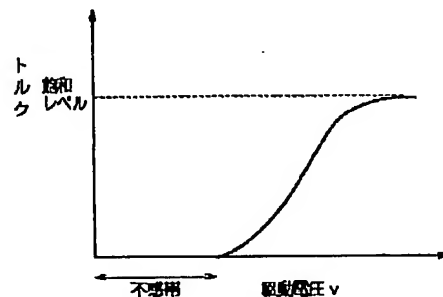
【図 11】上記振動体のアドミッタンスの周波数特性を示す図である。

【図 12】上記振動体に流れる電流の共振点におけるサーボロック点を説明する図である。

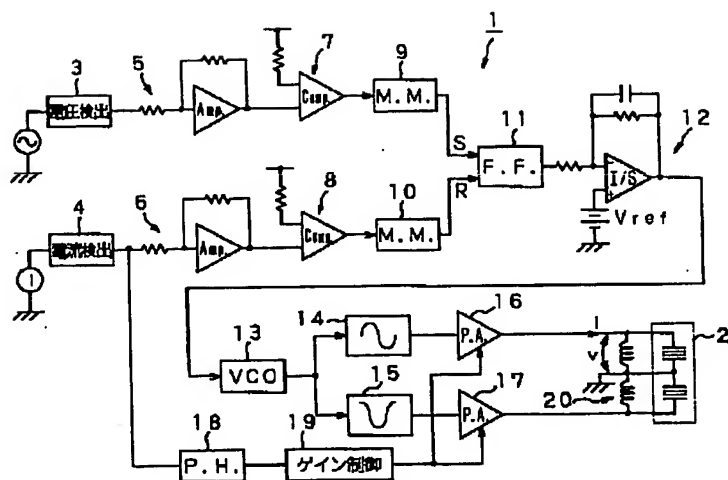
#### 【符号の説明】

- 30 1 超音波モータの駆動装置、2 超音波モータ、3 駆動電圧検出部、4 駆動電流検出部、11 フリップフロップ回路、12 積分回路、13 VCO、14、15 波形生成部、16、17 パワーアンプ、19 ゲイン制御部、20 外部インダクタ

【図 6】

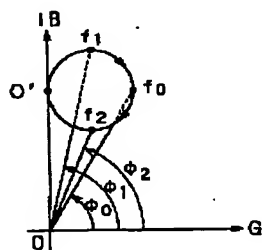


【図1】

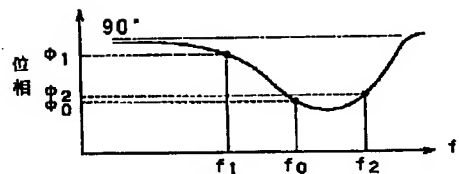


【図4】

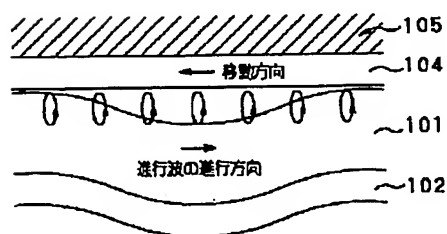
(A)



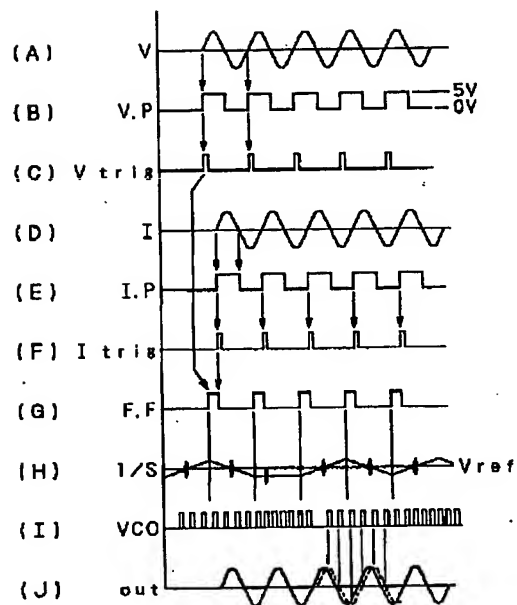
(B)



【図9】

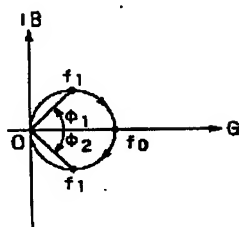


【図3】

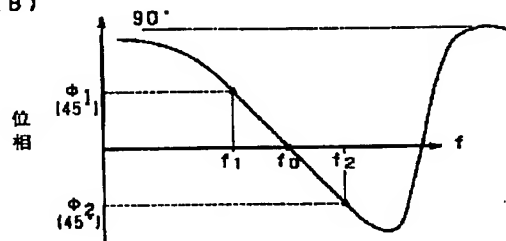


【図5】

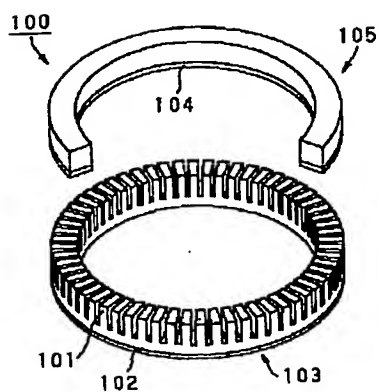
(A)



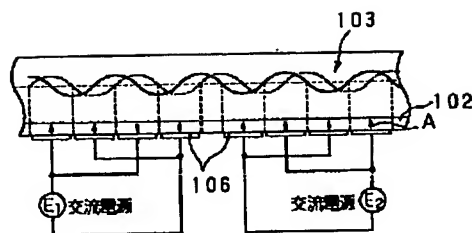
(B)



【図7】

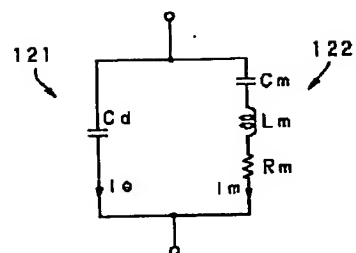


【図8】

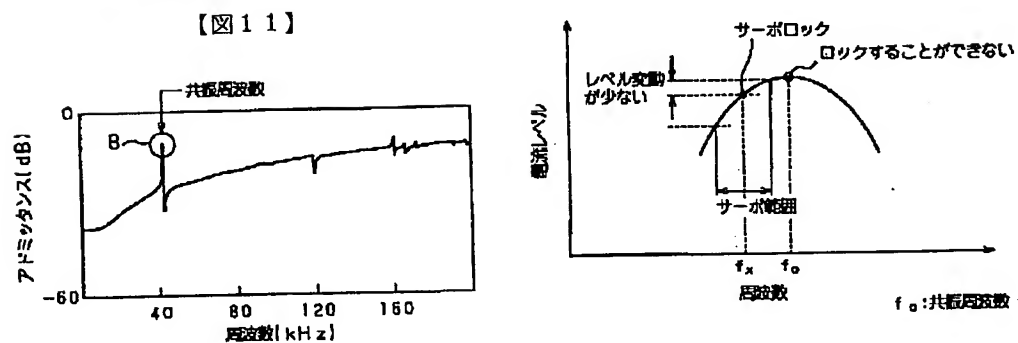


—  $E_1$  による定在波の電位分布  
—  $E_2$  による定在波の電位分布

【図10】



【図12】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5H680 AA00 AA06 BB03 BB16 CC02  
CC06 CC07 CC10 DD01 DD02  
DD15 DD23 DD27 DD53 DD66  
DD87 DD92 EE21 EE24 FF08  
FF21 FF23 FF26 FF27 FF30  
FF33 FF36 FF38